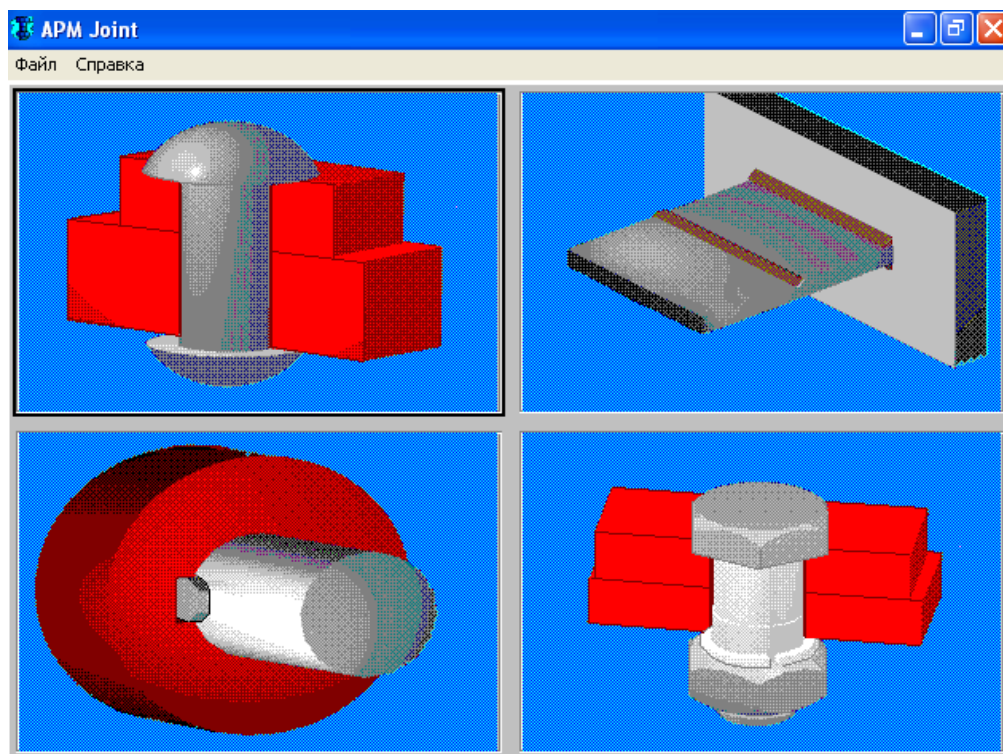




5 МОДУЛЬ APM JOINT



Система **APM Joint** предназначена для расчета и проектирования соединений элементов машин. С ее помощью можно выполнить весь комплекс расчетов необходимых при проектировании этих объектов используемых в машиностроении, приборостроении, строительстве. Система позволяет выбрать из большого числа возможных конструкторских решений наиболее выгодное с экономической точки зрения. Расчеты реализованы в форме *проверочного* и *проектировочного*. Под *проектировочным расчетом* понимается комплекс вычислений по определению основных геометрических размеров соединения, а при *проверочном расчете* определяются значения коэффициентов запаса. При этом критерием расчета резьбовых соединений являются условие отсутствия сдвига и раскрытия сопряженных поверхностей, а также статическая и усталостная прочность элементов соединения; сварные швы рассчитываются из условия статической и усталостной прочности; заклепочные соединения рассчитываются из условия прочности при постоянной нагрузке;

Критерием расчета соединений деталей вращения может быть (в зависимости от типа) условие отсутствия сдвига или раскрытия сопряженных поверхностей, либо статическая и усталостная прочность элементов соединения, а также совокупность обоих критериев.



ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

APM Joint – это модуль для расчета и проектирования соединений.

Система позволяет рассчитать:

- групповые резьбовые соединения, поставленные в отверстие с зазором и без, установленные в произвольном порядке и предназначенные для соединения произвольных поверхностей. При этом в качестве элементов крепления могут быть рассчитаны болты, винты и шпильки, работающие при произвольном внешнем нагружении.

- сварные соединения, при произвольной внешней нагрузке и произвольном размещении сварных швов нижеследующих типов:

- стыковые;

- тавровые;

- нахлесточные;

- точечная сварка.

- заклепочные соединения произвольного размещения и при произвольном плоском нагружении;

- соединения деталей вращения, конструктивно выполненные как:

- соединения с натягом цилиндрической или конической формы;

- шлицевые или шпоночные соединения разных типов;

- штифтовые соединения радиальные и осевые;

- соединения коническими кольцами;

- клеммовые соединения различного конструктивного выполнения;

- профильные соединения различных модификаций.

Исходные данные

Исходными данными для расчета соединений являются геометрия соединения, внешние нагрузки, а также ряд других параметров, которые характеризуют выбранные материалы, коэффициенты запаса и т.д. Список этих констант приведен ниже

- коэффициент запаса по смятию 1.1... 1.4

- коэффициент запаса по сдвигу 1.1 ... 1.4

- коэффициент основной нагрузки 0.2 ... 0.3

- предел текучести

- коэффициент трения

- предел прочности

Для всех типов соединений вычисляются следующие геометрические параметры:

- 1. Площадь** (кроме точечной сварки).

Под **площадью** для резьбовых, заклепочных и стыковых сварных соединений понимается площадь поверхности стыка, а для тавровых и нахлесточных сварных площадь шва.



2. Координаты центра масс.
3. Осевые моменты инерции, относительно двух взаимно перпендикулярных осей (X и Y).
4. Угол наклона главных центральных осей.

Определение

Главными центральными осями называются две взаимно-перпендикулярные оси, проходящие через цент масс, относительно которых осевые моменты инерции имеют максимальное значение (смещенный момент равен нулю).

Далее рассчитываются параметры характерные для данного типа соединения и типа расчета. Ниже приводятся расчетные параметры по типам.

Групповые резьбовые соединения

Групповые резьбовые соединения с винтами, установленными с зазором.

Для этой группы соединений рассчитываются:

Сила затяжки болта.

Максимальная нагрузка, действующая на болт.

Максимальное давление на стык.

Диаметр болта - наружный диаметр резьбы.

При проверочном расчете добавляются коэффициенты запаса:

Коэффициент запаса выносливости - отношение допустимого числа циклов нагружения к фактически действующему числу циклов.

Коэффициент запаса прочности - отношение предела прочности материала болта, к фактическому напряжению наиболее нагруженного болта.

Групповые резьбовые соединения с винтами, установленными без зазора.

Для этой группы соединений рассчитываются:

Диаметр болта - диаметр стержня болта.

Максимальная сдвигающая нагрузка на болт - нагрузка, приложенная в плоскости стыка, действующая на наиболее нагруженный болт.

Минимальная толщина пластины - наименьшая толщина пластины, при которой фактические напряжения смятия равны допускаемым.

При проверочном расчете добавляется коэффициент запаса:



Коэффициент запаса прочности по сдвигу - отношение допускаемого напряжения сдвига материала болта к фактически действующему напряжению наиболее нагруженного болта.

В обоих случаях давления в стыке выводятся в виде карты распределения по поверхности стыка.

Заклепочные соединения

Диаметр заклепки - диаметр стержня заклепки без внутреннего отверстия. Если заклепка имеет внутреннее отверстие, то расчёт необходимых диаметров следует вести из условия равенства площадей поперечных сечений.

Максимальная сдвигающая нагрузка на заклепку - нагрузка, приложенная в плоскости стыка, действующая на наиболее нагруженную заклепку.

Минимальная толщина пластины - наименьшая толщина пластины, при которой фактические напряжения смятия равны допускаемым.

При проверочном расчёте добавляется коэффициент запаса:

Коэффициент запаса прочности по сдвигу - отношение допускаемого напряжения сдвига материала заклепки к фактически действующему напряжению наиболее нагруженной заклепки.

Тавровые и нахлесточные соединения

Максимальное эквивалентное напряжение - напряжение, действующее в наиболее нагруженной точке сварного шва. Под эквивалентным напряжением понимается напряжение растяжения, вызывающее такое же разрушающее воздействие, что и совокупность нормальных и касательных напряжений.

Катет сварного шва - геометрическая характеристика поперечного сечения шва, очертания которого напоминают равнобедренный прямоугольный треугольник. Величина катета позволяет определить соответствующий диаметр электрода.

При проверочном расчёте добавляются коэффициенты запаса:

Коэффициент запаса прочности - отношение допускаемого напряжения материала сварного шва к фактически действующему эквивалентному напряжению в наиболее нагруженной точке.

Коэффициент запаса выносливости - отношение допустимого числа циклов нагружения к фактически действующему числу циклов.



Напряжения в сварном шве выводятся в виде карты напряжений.

Точечная сварка

Диаметр точки.

В проверочном расчете добавляются коэффициенты запаса:

Коэффициент запаса прочности по сдвигу - отношение допускаемого напряжения сдвига материала точки к фактически действующему напряжению наиболее нагруженной точки.

Коэффициент запаса выносливости - отношение допустимого числа циклов нагружения к фактически действующему числу циклов.

Стыковая сварка

Максимальное эквивалентное напряжение - напряжение, действующее в наиболее нагруженной точке стыка. Под эквивалентным напряжением понимается напряжение растяжения, вызывающее такое же разрушающее воздействие, что и совокупность нормальных и касательных напряжений.

Коэффициент запаса прочности - отношение допускаемого напряжения материала стыка к фактически действующему эквивалентному напряжению в наиболее нагруженной точке.

Коэффициент запаса текучести - отношение предела текучести материала стыка к фактически действующему эквивалентному напряжению в наиболее нагруженной точке.

При проверочном расчёте добавляется коэффициент запаса:

Коэффициент запаса выносливости - отношение допустимого числа циклов нагружения к фактически действующему числу циклов.

Напряжения в стыке выводятся в виде карты напряжений.

Соединения деталей вращения

Шпоночные соединения

Все геометрические параметры шпонки.

Допускаемые напряжения для выбранных материалов соединения.

Действующие напряжения в соединении.

Шпонка выбирается из базы данных в зависимости от текущего стандарта.



Соединения цилиндрических деталей с натягом

Минимальный требуемый натяг из условия не раскрытия/сдвига стыка.

Максимальный натяг из условия контактной прочности деталей соединения.

Набор посадок выбранных из базы данных. Для каждой посадки считается мин/макс сила необходимая для сборки соединения.

Соединения конических деталей с натягом

Необходимая сила затяжки.

Перемещение втулки при затяжке.

Коэффициент запаса по текучести втулки.

Соединения коническими кольцами

Необходимая сила затяжки.

Перемещение втулки при затяжке.

Коэффициент запаса по текучести втулки.

Коэффициент запаса по текучести вала.

Штифтовые соединения

Диаметр штифтов.

Допускаемые напряжения для выбранных материалов соединения.

Действующие напряжения в соединении.

Клеммовые соединения

Диаметр винтов.

Допускаемые напряжения для выбранного материала винта.

Действующие напряжения в соединении.

Шлицевые соединения

Набор выбранных из базы данных соединений.

Методы и критерии расчёта

Резьбовые соединения



Критерий расчета групповых резьбовых соединений зависит от способа установки винтов и от вида внешней нагрузки к ним приложенной. В зависимости от этого расчеты бывают на нераскрытие стыка и несдвигаемость деталей в контакте.

Внешние нагрузки, действующие на плоский стык, приводятся к главному вектору и к главному моменту, приложенному к центру масс. Расчетные параметры резьбовых соединений определяются на основании принципа суперпозиции. Винты рассчитываются на статическую и усталостную прочность при растяжении. Расчет усталостной прочности выполняется только в случае переменной внешней нагрузки.

При проверочном расчете определяются значения коэффициентов запаса. В случае установки винтов без зазора критерием их расчета является прочность на срез и на смятие винтов. Нагрузки на винты полученные по результатам расчета представляются в виде карт нагрузки на винты, а давление в контакте представляется в виде карты удельных давлений. Из анализа карты давлений можно определить вероятность разрушения поверхности в контакте. Карты нагрузок на винты дают представления об эффективности их использования.

Заклепочные соединения

Рассчитываются на срез и смятие при условии нагружении соединений нагрузками действующими в плоскости стыка. Сдвигающие нагрузки на заклепки представляются в виде карты нагрузок.

Сварные соединения

Статическая прочность сварных соединений выполненных стыковым швом рассчитывается методом конечных элементов, в котором кроме номинальных напряжений определяются и местные в местах их концентрации, что используется при выполнении проверочного расчета на выносливость. Проверочный расчет в этом случае сводится к определению коэффициента запаса статической и усталостной прочности.

Проектировочный расчет угловых швов выполняется методом полярного и осевых моментов инерции и сводится к определению размера катета сварного шва.

Расчет прочности выполняется по эквивалентным напряжениям, полученным на основании энергетической теории прочности. При проектировочном расчете напряженно деформированное состояние сварных швов определяется методом конечных элементов и сводится к расчету коэффициентов запаса статической и усталостной прочности.



Кроме того, для всестороннего анализа напряженное состояние представляется в виде карт эквивалентных напряжений в цветном исполнении, с помощью которых можно определить мало напряженные участки сварного шва и, в случае необходимости, отредактировать конфигурацию с целью получения равнопрочных конфигураций.

Соединения деталей вращения

Для соединений с натягом используется решение задачи Ламе.

Для остальных соединений используется равенство внешней нагрузки и внутренних силовых факторов.

Критерий для расчета соединений деталей вращения зависит от типа соединения и может быть одним из:

Коэффициент запаса по нераскрытию стыка или коэффициент запаса по сдвигу.

Коэффициент запаса по статической и усталостной прочности элементов соединения.

Редактор соединений

Редактор соединений, входящий в состав системы APM Joint, представляет собой специализированный графический редактор, который дает в распоряжение пользователя гибкие и удобные средства для задания геометрии соединения и ввода нагрузок.

Компоненты редактора соединений

Внешний вид редактора соединений **APM Joint** показан на рисунке 5.1. Его основными элементами являются инструментальная панель, информационная панель, линейки и рабочее поле (окно редактирования).

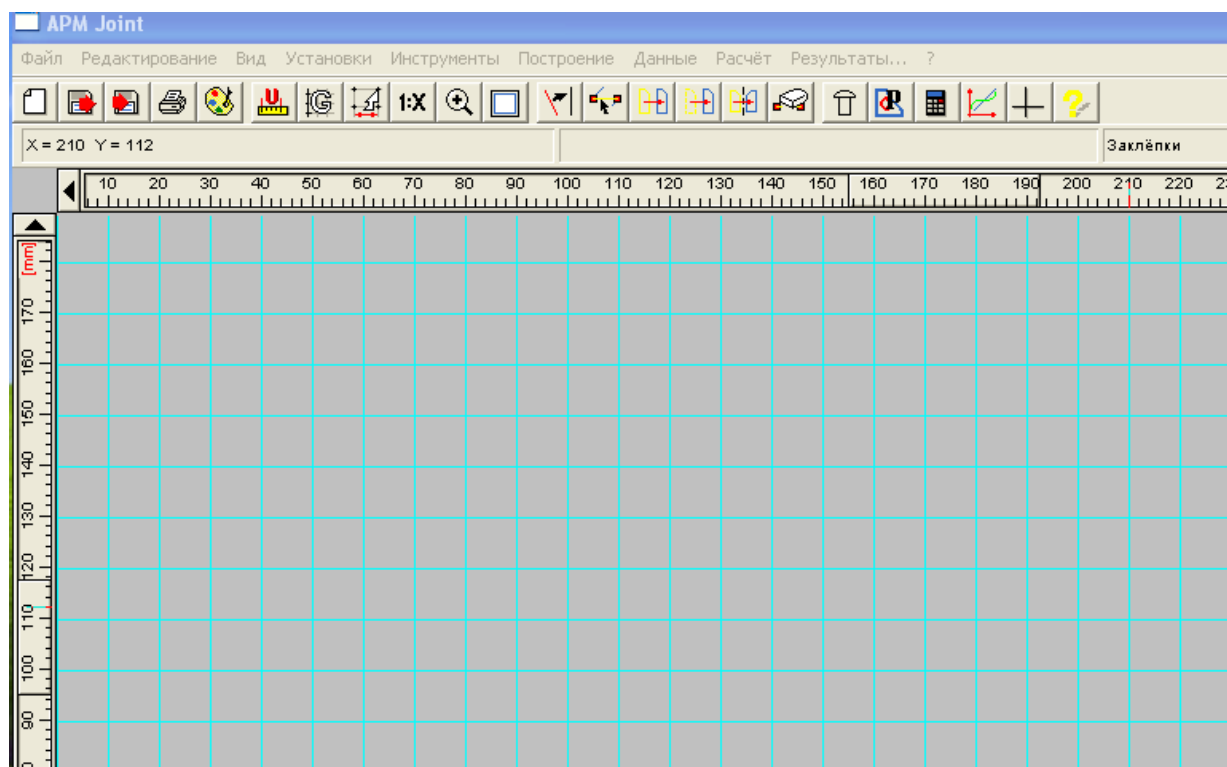


Рисунок 5.1 Внешний вид редактора соединений

Рабочее поле

Рабочее поле является главным компонентом редактора соединений. В нем отображается геометрия соединения, и выполняются операции по его формированию и изменению. В нем также показываются действующие на соединения нагрузки.

Линейки

Редактор включает в себя две линейки - вертикальную и горизонтальную. На линейках показаны шкалы, которые зависят от текущего масштаба изображения и текущих единиц измерения. Линейки одновременно являются полосами прокрутки - нажимая кнопки на линейках можно просматривать разные участки рабочей плоскости.

Информационная панель

Информационная панель используется для вывода текущих значений параметров в процессе проектирования соединения. Набор отображаемых параметров зависит от того, с каким элементом вы работаете. Так, например, при рисовании окружности на информационной панели показываются координаты курсора и радиус (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2



Инструментальная панель

Инструментальная панель содержит кнопки для вызова основных команд редактора, а также для вызова кнопочного меню нижнего уровня (рисунок 5.3). Для вызова нужной команды щелкните левой кнопкой мыши на соответствующей кнопке.



Рисунок 5.3

Увеличение размеров рабочего поля

Пользователь может увеличить размеры рабочего поля за счет удаления с экрана линеек, инструментальной и информационной панелей. Для этого используются команды **Линейки**, **Панель инструментов**, **Окно статуса** всплывающего меню **Вид**. В любой момент времени каждый из этих элементов можно снова вернуть на экран.

Масштаб изображения

Для изменения масштаба изображения служит команда **Установки - Масштаб**. В диалоговом окне, показанном на рисунке 5.4. Вы можете ввести нужный масштаб в поле *Масштаб* или выбрать один из стандартных масштабов (1 : 2, 1 : 5, 1 : 10 и т.д.).

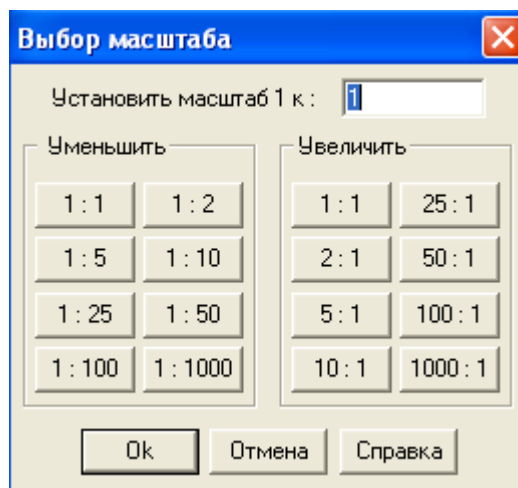


Рисунок 5.4

Палитры редактора

Палитрой называется совокупность цветов, используемых для рисования графических примитивов, нагрузок, болтов, заклёпок, точек сварки, а также цвета фона и цвета линий вспомогательной сетки. В распоряжении пользователя имеется четыре палитры ("серая", "белая", "черная" и "черное на белом"). Для выбора палитры используется команда **Установки - Палитра**.



Вспомогательная сетка

Для лучшего визуального контроля при рисовании геометрии соединения в поле редактора может выводиться вспомогательная прямоугольная сетка. С помощью команды **Установки – Сетка...** пользователь может выбрать шаг сетки и тип линий сетки.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ С РЕДАКТОРОМ

Типы элементов

Все геометрические объекты (линия, отрезок, окружность, дуга, точка), рисуемые с помощью редактора **АПМ Joint**, делятся на *основные* и *вспомогательные*.

Для того чтобы представить себе различие между основными и вспомогательными элементами, полезно вспомнить, как создается обычный “ручной” чертеж. В работе над ним чертежник задает рабочее, “вспомогательные” элементы - точки, линии, окружности и т.п., которые используются для построения основных элементов, составляющих главное содержание чертежа. Допустим объект, который мы должны нарисовать содержит серию отверстий, центры которых лежат на одной линии или на одной окружности. В этом случае удобно сначала задать вспомогательный объект - линию или окружность, которые не будут входить в окончательный вариант чертежа, а используются только для удобства построения и редактирования.

Для задания основных и вспомогательных элементов в **АПМ Joint** используются разные команды: для основных элементов команды меню **Панель инструментов Рисование**, для вспомогательных - **Панель инструментов Вспомогательные**. Основные и вспомогательные элементы различаются и внешне - первые изображаются сплошными линиями, вторые - пунктирными.

Связи между элементами

Реальные геометрические объекты, включая и те, с которыми приходится иметь дело при проектировании соединений деталей машин, как правило, имеют иерархическую структуру. Это означает, что в их составе можно выделить “главные” элементы, составляющие “скелет” формы и второстепенные, которые можно рассматривать как локальные компоненты. Разделение на основные и второстепенные элементы предусматривает наличие связи между ними - локальные компоненты привязаны к основным. Другим источником иерархичности является построение, в процессе которого удобно использовать вспомогательные элементы, к которым привязываются основные. Еще один важный источник возникновения иерархии - параметризация, ко-



торая также предполагает наличие логических связей между элементами чертежа.

В процессе построения объектов в редакторе **АПМ Joint** между ними устанавливаются связи, тип которых зависит от способа построения каждого элемента.

Эта связь обуславливает зависимость размеров и расположения объекта от параметров объектов, с которыми он связан. Рассмотрим это на конкретных примерах.

Пусть вы построили окружность касательную к двум вспомогательным прямым. Тогда при изменении положения любой из этих прямых изменит свое положение и окружность. Другой пример: допустим, вы построили отрезок, концы которого привязаны к двум узлам, тогда, изменяя положение этих узлов, вы будете изменять размеры и положение отрезка.

Выбор режима

Для того чтобы нарисовать соединение нужно задать его конструктивные элементы; для проведения расчетов, нужно также ввести нагрузки. **Чтобы нарисовать или отредактировать какой-либо элемент, нужно переключить редактор в режим рисования этого элемента.** Для этого нужно выбрать либо соответствующую кнопку на инструментальной панели, либо команду в меню.

Рисование

Рисование элемента (примитива) сводится к заданию точек, определяющих его размеры и положение на плоскости, причем эти точки и порядок их ввода зависят от того, каким образом рисуется объект. Так, например, если вы строите окружность по центру и радиусу, то сначала нужно задать центр окружности, а затем установить требуемый радиус. Чтобы задать точку нужно подвести к ней курсор и нажать **левую** кнопку мыши. В процессе перемещения курсора при рисовании примитива на экране рисуется текущая форма (или текущие габариты) элемента, а в окне статуса выводятся текущие значения основных параметров. Нажатие **правой** кнопки мыши в большинстве случаев приводит к отмене предыдущей команды.

Редактирование

Редактирование в системе **АПМ Joint** включает в себя изменение параметров элементов соединения, а также их удаление. Чтобы перейти в режим редактирования элементов нужно выбрать команду **Редактирование - Редактировать** или нажать соответствующую кнопку. Редактирование осуществляется в несколько этапов и зависит от способа построения элемента и его связи с другими элементами:

1. Выбор редактируемого элемента.



2. Выбор редактируемого параметра.
3. Установка требуемых размеров.
4. Подтверждение установленных размеров.

Рассмотрим каждый этап более подробно.

Выбор редактируемого элемента. Чтобы выбрать элемент для редактирования подведите к нему курсор и нажмите левую кнопку мыши. В результате элемент и те объекты, от которых он зависит, выделяются цветом.


Выбор параметра для редактирования. Этот этап необязателен, его наличие зависит от того, есть ли необходимость выбора параметра для редактирования. Если такой необходимости нет, этот этап автоматически пропускается. Рассмотрим действия на этом этапе на примере. Допустим, вы редактируете окружность и есть возможность выбора между редактированием радиуса или положения центра (эта возможность появляется, если окружность не зависит от других элементов). Чтобы редактировать положение центра поместите курсор ближе к центру и нажмите левую кнопку мыши, а для изменения радиуса подведите курсор к окружности и нажмите левую кнопку мыши. Или при редактировании отрезка для выбора конца, который вы хотите переместить, подведите к нему курсор и нажмите левую кнопку мыши.

Установка требуемых размеров. Установка размеров и положения осуществляется перемещением курсора. При этом на экране рисуется текущая форма элемента, которая зависит от связи элемента с другими. Установите требуемый размер и нажмите левую кнопку мыши.


Подтверждение установленных размеров. Этот этап начинается сразу после предыдущего. Во время него изменяются параметры редактируемого элемента и всех связанных с ним. Если это приводит к ошибке, то новые параметры не устанавливаются и элемент остается без изменений.

Поверхность стыка и контуры

Для расчета резьбовых, заклепочных, а также стыковых сварных соединений необходимо задать поверхность стыка. В **АПМ Joint** поверхность стыка определяется набором контуров. *Контуром* является замкнутая кривая, состоящая из основных элементов, т.е. построенных с помощью команд меню **Построение** - отрезков и дуг.

Окружность - простейший вид такого контура. Пользователю предлагаются два вида контуров, которые называются внешний и внутренний. Они различаются вкладом, который дают в результирующую поверхность. *Внешний контур*  отображается толстой линией



синего цвета, *внутренний*  - красного. Область, ограниченная внешним контуром, включается в поверхность стыка, а ограниченная внутренним контуром исключается из поверхности. На математическом языке это означает, что к результирующей поверхности и областям, ограниченными внешними контурами, применяется логическая операция ИЛИ, а к областям, ограниченными внутренними контурами операция РАЗНОСТИ. Причем операция РАЗНОСТИ имеет приоритет над ИЛИ, т.е. область, лежащая внутри как внешнего, так и внутреннего контуров, исключается из поверхности стыка. На рисунке 5.5 дается поясняющий пример. Цифрами показаны номера контуров, внешние контура синим цветом внутренние - красным, а результирующая поверхность стыка - серым.

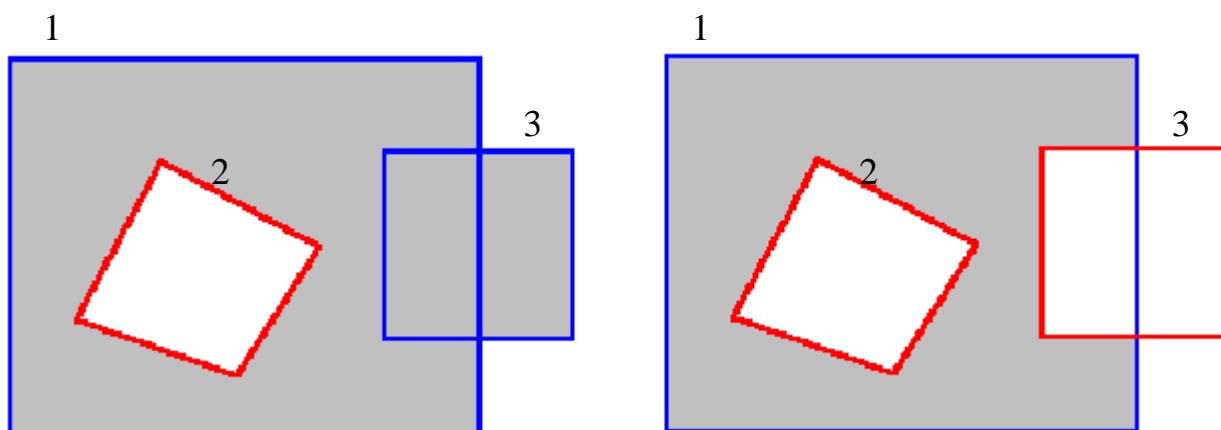






Рисунок 5.5 Пример поверхности и образующих ее контуров

Чтобы задать контур необходимо сначала его нарисовать основными элементами, а затем определить его, как внешний или внутренний используя команды **Данные - Внешний контур**  и **Данные - Внутренний контур** .

Нагрузки, действующие на соединения

Нагрузки делятся на *нормальные* к плоскости соединения и *касательные* к ней.

Для каждого типа соединения допускаются нагрузки определенного типа: или касательные или как касательные, так и нормальные. Нагрузки вводятся с помощью команд **Данные - Касательная сила**  и **Данные - Нормальная сила** .

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться рассчитывать и проектировать соединений элементов машин в системе **APM Joint**.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ В СРЕДЕ APM JOINT

Общая схема проектирования и расчета включает в себя следующие шаги:

- 1) Задание геометрии соединения;
- 2) Размещение нагрузок, действующих на соединение;
- 3) Ввод исходных данных, необходимых для расчета;
- 4) Выполнение проектировочного расчета;
- 5) Выполнение проверочного расчета;
- 6) Просмотр результатов расчетов.

Прежде чем приступить к описанию отдельных шагов, напомним определение проектировочного и проверочного расчетов.

Проектировочный расчет деталей машин предназначен для определения их основных параметров по формулам, соответствующим главным критериям работоспособности (прочности, износостойкости и пр.).

Проверочный расчет является уточняющим; его производят, когда форма и размеры детали уже известны по результатам проектировочного расчета либо приняты исходя из конструктивных требований.